

土の熱的性質の室内測定

岐阜大学 学生員 ○安藤 規正

正会員 佐藤 健

1. まえがき

地盤の凍結、融解、風化等、土の熱的性質が重要となる工学問題が多い。熱的性質を論じる上で、熱伝導率と比熱は基本的な物性として重要になるが、それらを測定する定まった方法は、あまり見あたらない。

本研究では、従来から、熱伝導率の測定方法として紹介されていた、双子型非定常プローブ法（農業土木学会編「土の理工学実験ガイド」）を用いて、熱伝導率と温度拡散率を推定する方法を新たに提案する。温度拡散率（ κ ）は、 $\kappa = \lambda$ （熱伝導率）/ ρc （体積比熱）の関係にあるので、熱伝導の非定常現象の追跡に必要な、 λ と ρc が同時にもとまることになる。

2. 測定方法

装置の模式図を、図-1に示した。測定試料は、豊浦砂を使う。測定試料と基準物質を、一昼夜室内に放置し、室温と平衡状態にする。測定試料と基準物質を恒温槽にセットし、プローブを中央に差し込む。ヒーターに供給する電圧は、温度勾配により、流体の移動とこれにともなう熱輸送が生じるので、 1°C 以上上昇しないように約 1.0V とする。通電時間は、1分とした。密度は、 $\rho_a = 1.5\text{g}/\text{cm}^3$ と $1.6\text{g}/\text{cm}^3$ の2種類とし、含水量を変化させた試料を用いて、温度上昇を測定した。

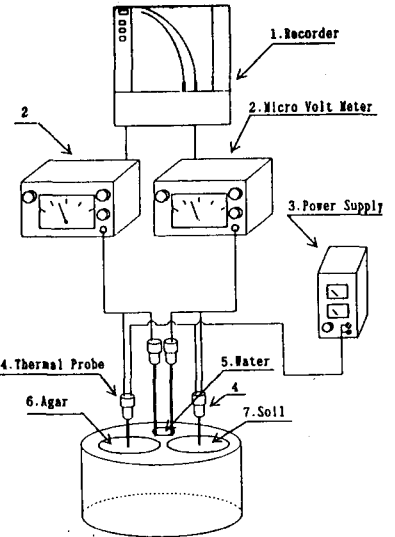


図-1 測定法の模式図

3. 解析法

熱伝導の基礎方程式
$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \kappa \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial \theta}{\partial r} \right) \quad \text{より}$$

プローブを線熱源と仮定し、ここから一定の熱量が連続的に発生するとき、距離 r における温度上昇（ $\Delta\theta$ ）は、

$$\Delta\theta = \left(\frac{q}{4\pi\lambda} \right) \cdot [-E(-r^2/4\kappa t)] \quad (2-1)$$

$$-Ei(-u) \int_{r/2}^0 \frac{e^{-u}}{u} du \quad \text{となる。}$$

熱伝導率（ λ ）の推定法

比較測定法では、2本のプローブを、物質A（熱伝導率= λ_A ）、物質B（熱伝導率= λ_B ）の中にいれ、同時に発熱させると、温度変化の比は、（2-1）式より

$$w = \frac{d\theta_A}{d(\ln t)} \bigg/ \frac{d\theta_B}{d(\ln t)} \approx \frac{\lambda_B}{\lambda_A} \quad (2-2)$$

となる。したがって、図-1の装置による実験結果より、（2-2）式の w を求め、

$$\lambda_A = \lambda_B \cdot w \quad (2-3) \quad \text{として、土の熱伝導率が推定される。}$$

温度拡散率の推定法

温度拡散率は、単位の発熱量によって、温度変化がどれ位の速さで周囲に伝わるかを表すパラメータで、比定常熱伝導現象の追跡には、欠くことの出来ない物性である。土のような多孔体では、熱の伝播は熱伝導率だけでなく、水蒸気や間隙水の移動による輸送現象も存在し、熱伝導を司る温度拡散率の推定は、難しいと言われている。

筆者らは、通電直後の温度上昇に着目して、この部分の温度上昇 ($\Delta\theta$) が、(2-1) 式で表されることを利用して、 κ の推定を試みた。(2-1) 式において、 $-Ei(-u)$ と $1/u$ との関係は、一意的に決まるので、 $-Ei(-u)$ と $1/u$ の関係曲線を別途用意しておき、図-2 のような要領にて、カーブ・フィッティング法で、 $\kappa = r^2 / 4 u_m t_m$ より推定した。

4. 結果と考察

推定された熱伝導率の値を飽和度との関係で整理したのが、図-2 である。実験は、20℃の恒温室と、30～33℃の真夏の土質実験室で行った。飽和度が上昇するにしたがって、土の熱伝導率が大きくなる傾向が良く分かる。飽和度30～60%位のところでは、30～33℃での結果の方が、熱伝導率が大きくなっているが、温度の影響は微妙である。

カーブ・フィッティングにより求めた温度拡散率と飽和度との関係を図-3 に表した。水分量の増加にともない、温度拡散率は緩やかに増加する傾向にあることが分かる。高飽和度で、異常に大きな温度拡散率になっているところは、温度上昇によって、水の対流が起こったことも理由の1つと考えている。

5. 結論

比較測定法の利点を生かしつつ、比定常熱伝導現象の追跡に必要な温度拡散率を推定する方法を新たに提案した。推定結果は、いずれも従来から定性的に指摘されている傾向を示し、良好な結果が得られたものと判断した。しかし、カーブ・フィッティング法は、誤差を生じ易いので、より正確に、簡便に推定できる方法を目下検討中である。

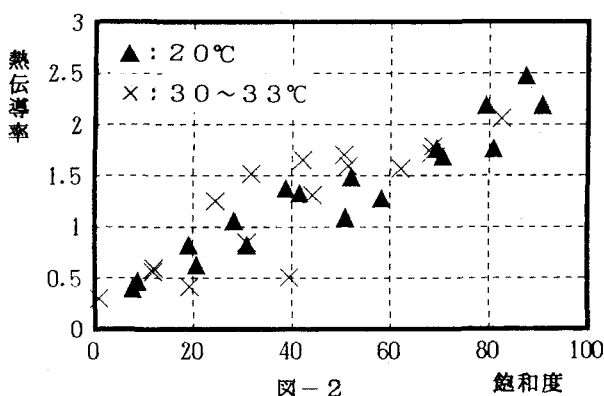


図-2

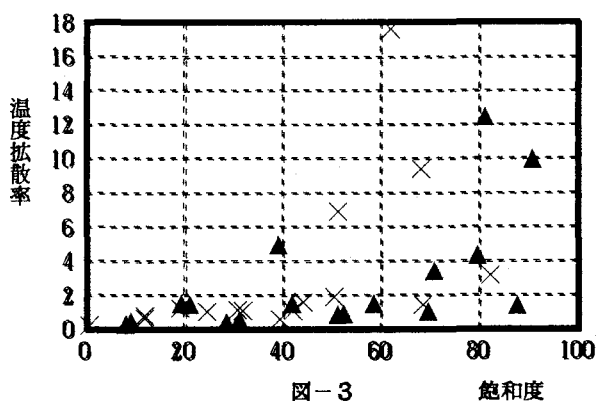


図-3